

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.226.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27 октября 2021, №6

О присуждении Белову Ивану Романовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами» по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)» принята к защите 18.08.2021 г. (протокол №5), диссертационным советом Д 002.226.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» (117997, Москва, ул. Профсоюзная, д.65, приказ ВАК о создании диссертационного совета №1318-в от 29.12.2000 г., перерегистрирован 11.04.2012 г., приказ №105 НК).

Соискатель Белов Иван Романович, 1993 года рождения, в 2017 году с отличием окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности 01.04.04. «Прикладная математика», обучается в аспирантуре ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН с 01.11.2017 по 31.10.2021 г. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН в 2021 году. В период подготовки диссертации соискатель Белов Иван Романович работал и продолжает работать в лаборатории №1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» в должности математика, впоследствии в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории №1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук».

Научный руководитель – Кустов Аркадий Юрьевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории №1 «Динамических информационно-

управляющих систем им. Б.Н. Петрова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

- Пакшин Павел Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Арзамасского политехнического института (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»;
- Деревянкин Алексей Викторович, к.ф.-м.н., ведущий инженер в ООО «Техкомпания Хуавэй» (подразделении) Общества с ограниченной ответственностью «КС Кадровый Консалтинг»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н., доцентом, профессором кафедры «Математическое моделирование» МГТУ им. Н.Э. Баумана Канатниковым А.Н. и д.ф.-м.н., профессором, членом-корр. РАН, заведующим кафедрой «Математическое моделирование» МГТУ им. Н.Э. Баумана Крищенко А.П., и утвержденном д.т.н., доцентом, первым проректором – проректором по научной работе и стратегическому развитию МГТУ им. Н.Э. Баумана Коробцом Б.Н., указала, что диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новые результаты в решении актуальных задач анализа и синтеза субоптимального фильтра для стохастических систем.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

1. Представлен недостаточно полный обзор полученных ранее результатов решения различных типов задач фильтрации для стохастических задач.
2. В диссертации следовало бы обсудить, какой вид примут полученные результаты в случае малых возмущений.
3. Следует подробнее разъяснить область применения предложенных соискателем методов синтеза анизотропного фильтра и возможность использования полученного фильтра за пределами заданного временного интервала.

Высказанные замечания не влияют на положительную оценку проделанной соискателем работы.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе 8 работ по теме диссертации, из них 2 работы в рецензируемых научных изданиях из списка RSCI, 3 публикации в изданиях из перечня Web of Science/Scopus, 3 тезиса докладов.

Публикации из числа рецензируемых изданий:

1. И.Р. Белов. Анизотропийная фильтрация для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами на конечном горизонте.// Автоматика и Телемеханика, 2021. №6. С. 46–79.
2. И.Р. Белов. Анизотропийный анализ линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами // Управление большими системами. Выпуск 91. М.: ИПУ РАН, 2021. С. 38–77.
3. Ivan R. Belov, Alexander V. Yurchenkov, Arkadiy Yu. Kustov. Anisotropy-Based Bounded Real Lemma for Multiplicative Noise Systems: the Finite Horizon Case / Proceedings of the 27th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED 2019, Akko, Israel). Akko: IEEE, 2019. P. 148-152. DOI: 10.1109 / MED.2019.8798565.
4. Ivan R. Belov. Anisotropy-Based Estimation for Linear Discrete Time Varying Finite Horizon Systems with Missing Measurements / Proceedings of the 28th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'2020, Saint-Raphael, France). Saint-Raphael, France: IEEE, 2020. P. 832-837 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9182955>.
5. Ivan R. Belov. Anisotropy-based Estimation Problem for Linear Discrete Time Varying Systems with Multiplicative Noises: Special Case / Proceedings 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC 2020, High Tatras, Slovakia). High Tatras: IEEE (Catalog Number: CFP2042L-ART),2020.P.1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9257275>.

В совместных работах автор внес значительный вклад в решении задач анизотропийного анализа для систем с мультипликативными шумами, в проведении необходимых преобразований и получении конечного результата в виде достаточных условий ограниченности анизотропийной нормы системы.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-технологического центра уникального приборостроения Российской академии наук Чурикова Д.В., содержит следующие замечания:

- а) Практическое применение субоптимальных анизотропийных фильтров вызывает вопросы, поскольку в большинстве научных трудов по данной тематике указывается на высокую вычислительную сложность их реализации.
 - б) Автором была рассмотрена задача фильтрации на конечном интервале времени и не было предложено модификации предложенного анизотропийного фильтра для работы в режиме реального времени, что имеет большое значение при использовании методов синтеза фильтров в реальных задачах.
2. Отзыв на автореферат д.т.н., начальника отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения им. Академика Н.А. Пилюгина» Чайковского М.М., содержит следующие замечания:
- а) Из автореферата непонятно, как соотносится субоптимальное решение с оптимальным, насколько ухудшается точность оценивания. Для сравнения полученных результатов с оптимальным случаем следовало бы рассмотреть и задачу оптимальной фильтрации для данного класса систем.
 - б) Автором выбраны нулевые начальные условия для вектора ошибки оценивания, хотя на практике начальные данные известны не всегда точно. Было бы правильнее рассмотреть произвольные или заданные «с точностью до» начальные условия и провести соответствующий анализ устойчивости.
3. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук» Калябина Д.В. содержит следующие замечания:
- а) В автореферате представлено очень краткое изложение основных результатов без описания сложностей, возникающих в процессе решения, и их недостатков, связанных со сложностью реализации.
 - б) Частный случай в виде системы со случайными сбоями в датчиках рассмотрен несколько однобоко, поскольку из представленной модели видно, что при сбое информация с датчиков совсем не поступает, хотя чаще всего пропадает только определенная часть информации. Также нет четкого обоснования выбора закона Бернулли для описания сбоев. Возможно, следовало бы рассмотреть системы со случайными сбоями в датчиках более подробно ввиду их широкого практического применения и разнообразия.

- 4. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., научного сотрудника отдела 71 Федерального Исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук Белинской Ю.С. не содержит критических замечаний.
- 5. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., доцента кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Игнатова А.Н. содержит следующие замечания:
 - а) Из автореферата непонятно, насколько в теории и на практике проверяемы условия ограниченности анизотропийной нормы для систем с мультипликативными шумами.
 - б) Из автореферата не очевидно, проводилось ли исследование влияния параметра гамма на выполнимость условий теорем 2,3,4. Также неясно, насколько этот параметр влияет или не влияет на скорость получения численного решения хотя бы в задаче фильтрации для системы со случайным отказом в датчике.
- 6. Отзыв на автореферат к.т.н., доцента, заведующего кафедрой информационных технологий и систем, проректора по информатизации и цифровому развитию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» Моураова А.Г. не содержит критических замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается профилем их научной деятельности и профессиональных интересов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1. **Впервые разработан** метод вычисления в пространстве состояний анизотропийной нормы для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами на конечном интервале времени. Проведен сравнительный анализ методов для детерминированного и стохастического случаев. Разработанный алгоритм позволяет эффективно вычислять анизотропийную норму для систем с мультипликативными шумами.
- 2. **Сформулированы** необходимые и достаточные условия ограниченности анизотропийной нормы системы с

- мультипликативными шумами в терминах разностных уравнений Риккати, а также достаточные условия ограниченности анизотропийной нормы системы в терминах неравенства Риккати.
3. **Предложен** метод синтеза субоптимального анизотропийного фильтра для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами на конечном интервале времени. Получены решения задачи субоптимальной анизотропийной фильтрации в зависимости от конфигурации искомого фильтра.
 4. **Разработан** способ синтеза субоптимального анизотропийного фильтра для систем со случайными сбоями в датчиках. Представленный метод заключается в решении линейных матричных неравенств в терминах матриц искомого фильтра и позволяет решать задачи фильтрации для различных модификаций систем со случайными сбоями в датчиках.
 5. **Реализовано** численное решение задачи субоптимальной анизотропийной фильтрации с использованием полученного метода для линеаризованной модели продольного движения самолета в режиме посадки. Проведен сравнительный анализ синтезированного анизотропийного фильтра с субоптимальными H_2 -фильтром и H_∞ -фильтром и показано преимущество анизотропийного фильтра перед H_2 - и H_∞ -фильтрами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что методы анизотропийной теории позволяют решать задачи робастного управления и фильтрации для разнообразных систем, на вход которых подаются возмущения с нестандартными параметрами, а системы с мультипликативными шумами, для которых получены результаты решения задач анализа и фильтрации, являются хорошей аппроксимацией многих технических систем и процессов с меняющимися случайным образом параметрами.

Практическая значимость проведенного соискателем исследования заключается в широкой области применения представленного в работе алгоритма синтеза субоптимального фильтра для систем со случайными сбоями в датчиках, поскольку с помощью суперпозиции рассмотренной системы со случайными сбоями в датчиках можно описывать более сложные объекты и процессы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что представленные в работе результаты решения поставленных задач анализа и синтеза являются достоверными и обоснованными по причине использования строгого математического аппарата. В качестве подтверждения в работе

продемонстрированы результаты компьютерного моделирования предложенных методов решения задач.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в процессе решения задач анизотропийного анализа и синтеза для систем с мультипликативными шумами, получении конечных результатов решения поставленных задач и апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Линейные матричные неравенства не являются оптимальным инструментом при решении задач управления и фильтрации, следует рассматривать и другие методы решения поставленных задач.

На заседании 27 октября 2021 г. диссертационный совет решил за решение научной задачи анизотропийной фильтрации для линейных дискретных нестационарных систем с мультипликативными шумами, имеющей большое значение для развития методов субоптимальной фильтрации для линейных нестационарных стохастических систем, присудить Белову Ивану Романовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них по профилю рассматриваемой специальности 6 докторов наук, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против – 1.

Председатель диссертационного
совета Д 002.226.02, д.ф.-м.н.,
профессор РАН



М.В. Губко

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 002.226.02, к.ф.-м.н.

Е.Г. Мусатова

27 октября 2021 года